

## ВВЕДЕНИЕ

Мировая экономика сталкивается с серьезными признаками надвигающегося энергетического кризиса, предотвращение которого или выход из него в случае возникновения многие связывают с развитием альтернативной энергетики. К сожалению, практически любая альтернативная энергетика требует обязательного дублирования источников ее генерации, а это предполагает необходимость существенного увеличения расходования средств и энергоресурсов. Вместе с тем имеется реальная возможность существенного снижения энергетических затрат. Одним из таких источников является естественный холод. Россия, как известно, самая холодная страна в мире, более 65% нашей территории занято вечной мерзлотой. Россия является еще и самым большим естественным хранилищем холода на Земле.

И. М. Калнинь, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой холодильной и криогенной техники Московского государственного университета инженерной экологии, в своей статье «Актуальные направления развития техники низких температур», отмечая нарастание дефицита энергии в XXI в., утверждает: «Возрастёт использование естественного холода: наружного воздуха, аккумулированного льда, соляных прудов для аккумуляции холода зимой и тепла летом».

Возникает вопрос, нельзя ли каким-то образом аккумулировать этот холод и при необходимости транспортировать его в другие регионы или даже страны, где люди страдают от невыносимой жары и тратят огромные средства и энергию на холодильную технику. В энергетических балансах развитых стран расход электроэнергии на холодильное оборудование составляет 15–20%, а затраты топлива на производство искусственного холода оцениваются величиной порядка 0,9–1,1 млрд т. у. т. [1]. Кроме того, уже сейчас в мире ощущается значительный дефицит питьевой воды. По нашему мнению, идеальным способом консервации и транспортировки холода и воды является пищевой лед. Запасы пресной воды и наличие огромных территорий с максимальными морозами в России, по которым на север текут такие полноводные реки, как Северная Двина, Печора, Обь, Енисей и Лена, делают нашу страну потенциально самой конкурентоспособной в экспорте пищевого льда. Поэтому не надо поворачивать реки на юг, лучше организовать непрерывные транспортные потоки пищевого льда, которые позволят обеспечить южные районы и холодом, и водой.

Для производства пищевого льда используется специальная холодильная техника и почти забыто использование естественного холода. Для внедрения устройств с использованием естественного холода наиболее подходит регион Якутия, который является самым холодным регионом в мире с постоянно проживающими людьми. Почти вся территория Якутии — это вечная мерзлота многолетнемерзлых грунтов. В Якутии в настоящее время существуют склады-ледники для хранения продуктов, которые имеют явно выраженные конструктивные и технологические недостатки, но их вполне можно использовать и для хранения

упакованного пищевого льда перед его отправкой потребителю. Якутия, таким образом, является наилучшим регионом Земли, где можно было бы использовать естественный холод для получения огромных количеств пищевого льда, который с минимальными энергетическими затратами можно длительно хранить в складах, оборудованных в многолетнемерзлых грунтах. К сожалению, существующая транспортная инфраструктура в Якутии не позволяет в настоящее время реализовывать этот потенциал. Но процесс может быть оперативно реализован на европейском севере России, в Вологодской, Архангельской, Мурманской областях, а также в республиках Коми и Карелии.

Анализ литературных источников показал, что основными направлениями научных исследований в области естественного охлаждения на сегодняшний день являются:

- разработка энергосберегающих схем, позволяющих сократить потребление электроэнергии путем снижения нагрузки с холодильных машин за счет естественного холода;
- создание нового оборудования, использующего природные источники холода (теплообменные аппараты, генераторы льда и др.);
- изобретение различных способов аккумулирования естественного холода;
- оптимизация схем и оборудования с целью сокращения энергозатрат, массогабаритных характеристик и повышения надежности работы систем.

Отдельно следует упомянуть разработку систем, совмещающих использование природного холода и низкопотенциального тепла, получаемого при охлаждении тепловыделяющего оборудования для теплоснабжения зданий, и использование природной энергии для получения холода в первую очередь путем создания солнечных сорбционных холодильных установок.

# 1. ЕСТЕСТВЕННЫЙ ХОЛОД

## Цель работы

Ознакомить со способами использования естественного холода и методами расчёта экономического эффекта, получаемого при использовании естественного холода.

## Введение

В России естественный холод для хранения пищевых продуктов начал использоваться еще в XIX в., задолго до появления первых холодильных машин. По берегам рыбопромысловых рек (Волга, Дон), берегам Каспийского и Азовского морей строились льдохранилища и ледники. Такие же сооружения строились и на путях следования скоропортящихся продуктов (масло, мясо, рыба и др.) из районов Сибири на северо-запад [2, 3, 4].

История применения естественных источников холода имеет многовековые традиции — мудрые китайцы использовали природный лёд за тысячу лет до нашей эры. В США впервые на коммерческой основе начался сбор льда с поверхности озёр и рек зимой 1799 г. В течение XIX в. в Европе и Америке было сконструировано несколько установок охлаждения воздуха с помощью естественного льда [5]. Французские инженеры Фердинанд Карре и его брат Эммонд Карре разработали цикл работы абсорбционной машины для промышленного производства льда и запатентовали установку в 1860 г. [6].

Конкуренция между натуральным и искусственным льдом продолжалась до Первой мировой войны. Затем, в 1930-е годы, на рынке появились относительно компактные электрические холодильники. Их распространение привело к окончательному уходу производства естественного льда в прошлое [5].

## 1.1. Производство льда

Используемые способы производства льда требуют специальной холодильной техники, потребляющей электрическую энергию в холодильном цикле. При коэффициенте трансформации холодильной машины (ХМ)  $K = 4$  на превращение 1 кг воды с начальной температурой  $t_1 = 5^\circ\text{C}$  в лёд с температурой  $t_2 = -10^\circ\text{C}$  без учёта тепловых потерь требуется затрата электрической энергии:

$$Q_{\text{ХМ1}} = 1 [c_{\text{в}}(t_1 - 0) + r + c_{\text{л}}(0 - t_2)]/K = [4,19(5 - 0) + 334 + 2,05(0 + 10)]/4 = 93,86 \text{ кДж},$$

где  $c_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$  — теплоёмкость воды;  $r = 334 \text{ кДж}/\text{кг}$  — теплота кристаллизации льда;  $c_{\text{л}} = 2,05 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$  — теплоёмкость льда.

Таким образом, для производства  $G_{\text{л}} = 1 \text{ кг}/\text{с}$  потребляемая холодильной установкой мощность составит  $N_{\text{ху}} = 93,86 \text{ кВт}$ .

Затраты энергии на холодильную машину при производстве 1 кг льда будут  $93,86/3600 = 0,026 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$ . При цене 1 кВт·ч в 3 рубля затраты на выработку 1 кг льда составят 7,82 копейки. Но это в 6,5 раз больше, чем при использовании естественного холода (затраты электричества на приводы насоса, упаковочной машины и транспортёра — см. рис. 1.1).

Мощность насоса подачи воды при расходе  $G_{\text{в}} = 1 \text{ кг/с}$  и напоре  $\Delta P = 0,5 \text{ МПа}$  составит

$$N_{\text{нас}} = G_{\text{в}} \Delta P / (\rho_{\text{вод}} \cdot \eta_{\text{нас}}) = 1 \cdot 0,5 \cdot 10^6 / (1000 \cdot 0,7) = 7000 \text{ Вт} = 7 \text{ кВт},$$

где  $\rho_{\text{вод}} = 1000 \text{ кг/м}^3$  — плотность воды;  $\eta_{\text{нас}} = 0,7$  — КПД насоса.

Мощность привода упаковочной машины производительностью 3,6 т/ч  $N_{\text{уп}} = 7,5 \text{ кВт}$ .

Мощность привода транспортёра будет равна

$$N_{\text{тр}} = m_{\Sigma} \cdot g \cdot \kappa \cdot v / \eta_{\text{пр}} = 100 \cdot 9,81 \cdot 0,2 / 0,8 \cdot 0,27 = 245 \text{ Вт},$$

где  $m_{\Sigma} = 100 \text{ кг}$  — масса перемещаемого груза;  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$  — ускорение свободного падения;  $\kappa = 0,02$  — коэффициент трения качения;  $\eta_{\text{пр}} = 0,8$  — КПД привода.

На российском рынке 1 кг льда продаётся за 25 рублей. Огромная составляющая в цене — это затраты на доведение воды до необходимого качества, на упаковку с транспортировкой и на амортизационные отчисления за всё оборудование и на эксплуатационные затраты.

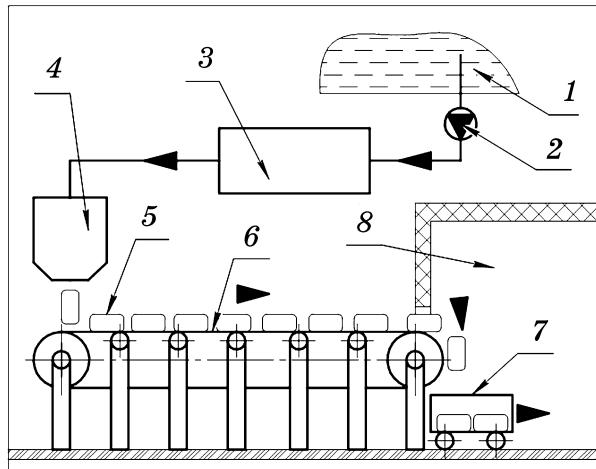


Рис. 1.1

Схема производства льда при использовании естественного холода:

1 — водоём с пресной водой; 2 — насос подачи воды; 3 — установка водоподготовки; 4 — разливочно-упаковывающий автомат; 5 — упакованный пакет с водой; 6 — транспортёр; 7 — тележка с упакованным льдом; 8 — склад упакованного льда.

При таком соотношении мизерных энергетических затрат к общим огромным затратам переход на работу от естественного холода становится зависимым от стоимости оборудования. Попробуем оценить капитальные вложения на производство льда для двух вариантов:

- 1) при использовании естественного холода (рис. 1.1);
- 2) при использовании льдогенератора с холодильной машиной (ХМ) (рис. 1.2).

Стоимость тепловых насосов (ТН) и холодильных машин (ХМ) зависит от их мощности. В нашем случае при тепловой мощности 375 кВт капитальные вложения чисто для ХМ примерно составят  $250 \cdot 375 = 93\ 860\$ = 6\ 852\ 000$  рублей.

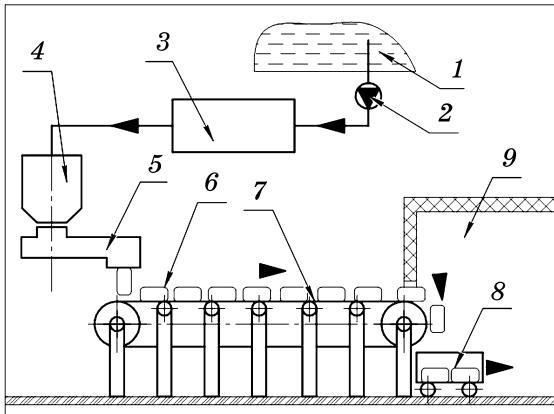


Рис. 1.2

Схема производства льда по второму варианту:

1 — водоём с пресной водой; 2 — насос подачи воды; 3 — установка водоподготовки; 4 — льдогенератор с холодильной машиной; 5 — устройство для прессования и упаковки готового льда; 6 — пакет со льдом; 7 — транспортёр; 8 — тележка с упакованным льдом; 9 — склад упакованного льда.

Второй вариант отличается от первого варианта наличием льдогенератора с холодильной машиной, отсутствием разливочно-упаковочного автомата. Вместо последнего дополнительно используется устройство для прессования и упаковки готового льда (см. рис. 1.2).

К примеру, стоимость льдогенератора Geneglace F2000 ABF производительностью 2083 кг/ч (0,58 кг/с) — 6 150 000 рублей. Для наших условий необходимо применить два таких аппарата общей стоимостью вместе с объединяющей схемой и арматурой в пределах 14 000 000 рублей.

Стоимость автомата розлива и упаковки воды с потребляемой мощностью в 7 кВт в первом варианте — 2 524 533 рублей.

Стоимость упаковочной машины для упаковки льда в полиэтиленовую плёнку для второго варианта — 9 029 100 рублей.

Во всех рассматриваемых нами вариантах необходимо использовать питьевую воду, соответствующую СанПиН 2.1.4.1074-01. Такое качество воды может обеспечить автономная установка Валдай-ВПУ-4 для подготовки питьевой воды в утепленном модуле. Производительность установки 4 м<sup>3</sup>/ч (1,11 кг/с), что вполне обеспечивает требуемые потребности. Потребляемая электрическая мощность установки 14,4 кВт. Цена 12 000 000 рублей.

Стоимость сырой воды, если она берется для коммерческих нужд, определяется взимаемым налогом, который в каждом регионе и для каждого водного объекта свой. Например, для реки Лены это ставка оплаты за 1000 м<sup>3</sup> при заборе из поверхностных источников 252 рубля. Но еще применяется дополнительный коэффициент 2,66 в 2021 г.

За рассматриваемый период в 150 суток (продолжительность морозных дней) установка выработает следующее количество льда:

$$G_{\text{л}} = 1 \cdot 150 \cdot 24 \cdot 3600 = 12 960 000 \text{ кг} = 12 960 \text{ т.}$$

При утечках в 20% за использованную воду необходимо будет заплатить

$$Z_{\text{вод}} = 1,2 \cdot 252 \cdot 2,66 \cdot 12960/1000 = 10\,435 \text{ руб.}$$

Обслуживание установки в первом варианте проводят 4 оператора с месячной зарплатой 110 000 рублей в месяц. Затраты на зарплату составят

$$Z_{\text{зп}} = 4 \cdot 110\,000 \cdot 150/30 = 2\,200\,000 \text{ руб.}$$

В арктических и северо-восточных зонах России температура ниже  $-23^{\circ}\text{C}$  составляет 150–160 дней (с ноября по март).

Для сравнительного расчёта примем период производства льда 150 суток.

За этот период на производство льда будет в первом варианте израсходовано электроэнергии:

$$P_{\text{Э}} = 150 \cdot 24 \cdot (10 + 0,245 + 14,4 + 1,71) = 3600 \cdot 26,355 = 94\,878 \cdot \text{kVt}\cdot\text{ч.}$$

При цене 1 ( $\text{kVt}\cdot\text{ч.}$ ) 3 рубля оплата за потреблённое электричество составит  $Z_{\text{Э}} = 284\,000$  руб.

Капитальные вложения в первом варианте составят

$$K_1 = 1,3 (2\,524\,533 + 120\,000 + 12\,000\,000 + 4\,500\,000) = 19\,144\,533 \text{ руб.},$$

где 1,3 — коэффициент, учитывающий монтажные работы; 2 524 533 — стоимость автомата розлива и упаковки; 120 000 — стоимость транспортёра; 12 000 000 — стоимость установки подготовки питьевой воды; 4 500 000 — склад готового льда для месячной производительности ( $20 \times 30 \times 5$  м).

Капитальные вложения во втором варианте составят

$$K_2 = 1,3 (14\,000\,000 + 120\,000 + 12\,000\,000 + 9\,029\,100 + 4\,500\,000) = 39\,649\,000 \text{ руб.},$$

где 1,3 — коэффициент, учитывающий монтажные работы; 14 000 000 — стоимость ХМ с льдогенератором; 120 000 — стоимость транспортёра; 12 000 000 — стоимость установки подготовки питьевой воды; 9 029 100 — стоимость упаковочной машины; 4 500 000 — склад готового льда для месячной производительности ( $20 \times 30 \times 5$  м).

За использованную воду во втором варианте необходимо будет заплатить, как и в первом варианте,  $Z_{\text{вод}} = 1,2 \cdot 252 \cdot 2,66 \cdot 12960/1000 = 10\,435$  руб.

За этот период на производство льда будет во втором варианте израсходовано электроэнергии:

$$P_{\text{Э}} = 150 \cdot 24 \cdot (93,86 + 1,15 \cdot 2 + 14,4 + 4,37) = 3600 \cdot 114,93 = 413\,748 \cdot \text{kVt}\cdot\text{ч.}$$

При цене 1 ( $\text{kVt}\cdot\text{ч.}$ ) 3 рубля оплата за потреблённое электричество составит сумму в  $Z_{\text{Э}} = 1\,241\,244$  руб.

Обслуживание установки проводят 8 операторов с месячной зарплатой 110 000 рублей в месяц. Затраты на зарплату составят

$$Z_{\text{зп}} = 8 \cdot 110\,000 \cdot 150/30 = 4\,400\,000 \text{ руб.}$$

## Сравнительный анализ рассмотренных вариантов

Характеристики и параметры вариантов работы установок по получению пакетированного пищевого льда сводим в таблицу 1.1.

Себестоимость льда во все вариантах много меньше рыночной (0,79\$/кг (57 рубл.)): в варианте 1 в  $57/0,688 = 83$  раз меньше; в варианте 2 в  $57/1,036 = 55$  раз меньше.

Например, для транспортировки льда, произведённого по варианту 2, в 20-тонном рефрижераторе из Мурманска в Севастополь необходимо заплатить за каждый килограмм по 12 рублей.

Таблица 1.1

### Сравнение двух вариантов

Параметр	№ варианта	
	1	2
Расчёчная продолжительность работы в течение года, сут	150	150
Фактическая продолжительность работы в течение года, сут	150	365
Капитальные вложения, руб.	19 144 533	39 649 000
Электрическая мощность, кВт	26,36	114,9
Тариф на электричество, руб./(кВт·ч)	3	3
Оплата за потреблённое электричество в расчётный период, руб.	284 688	1 240 920
Обслуживающий персонал, шт.	4	8
Затраты на зарплату в расчётный период, руб.	620 622	1 241 244
Срок службы, г.	7	7
Амортизационные отчисления, руб./г.	2 734 933	5 664 143
Количество льда, вырабатываемого в расчетный период, т	12 960	12 960
Плата за использованную воду в расчетный период, руб.	10 435	10 435
Пленка пищевая для продуктов Nova Roll, 30 см × 200 м	5 265 000	5 265 000
Затраты, руб.	8 915 678	13 421 742
Себестоимость льда, руб./т	688	1036

В варианте 1 самый дешёвый лёд и самое дешёвое хранение. Этот вариант подходит только для Якутии и других арктических регионов.

Что можно получить кроме холодной питьевой воды из одного пакета со льдом весом 1 кг, доставленным в Севастополь, при цене 13 рублей? Примем температуру льда  $-5^{\circ}\text{C}$ . Тогда при его переходе в жидкое состояние и нагреве воды до  $5^{\circ}\text{C}$  он может забрать из окружающей среды следующее количество тепла:

$$Q_{1\text{кгл}} = c_{\text{л}}(0 + 5) + r + c_{\text{в}}(5 - 0) = 2,05(0 + 5) + 334 + 4,19(5 - 0) = 365 \text{ кДж/кг.}$$

Какое количество воздуха можно охладить этим теплом от  $t_{1\text{в}} = 25^{\circ}\text{C}$  до  $t_{2\text{в}} = 20^{\circ}\text{C}$ ?

$$L = Q_{1\text{кгл}} / [c_{\text{возд}} (t_{1\text{в}} - t_{2\text{в}})] = 365 / [1 (25 - 20)] = 73 \text{ кг.}$$

Это объём  $V = L/\rho = 73/1,225 = 59,6 \text{ м}^3$ . Такой объём имеет комната 24 м<sup>2</sup> при высоте 2,5 м.

Для примера рассмотрим гостиничный комплекс с номерами для проживания 100 человек. При среднем потреблении питьевой воды в сутки на одного проживающего 3 литра будем иметь суточный расход 300 литров. В месяц это будет 9000 литров, или 9 тонн льда. Рефрижераторный контейнер привозит 20 тонн. Таким контейнером завозить лёд необходимо через 2 месяца.

Схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды приведена на рисунке 1.3. Теплоизолированную ёмкость со льдом 1 желательно располагать выше узлов потребления воды 4. Этим будет обеспечена естественная циркуляция воды через охладители воздуха 3.

На каждый этаж гостиницы питьевая вода из ёмкости 1 самотёком по линии 5 подаётся к узлам потребления воды 4 и, проходя через охладители воздуха 3, нагревается и по линии 6 направляется в ёмкость 1. Движение воды обеспечивается разностью плотности тёплой и холодной воды. Вентилятор 2 запускается, когда температура воздуха в данном помещении поднимается выше требуемой величины. Тёплая вода в ёмкости 1 по мере поступления будет плавить лёд. Расход воды требует соответствующего пополнения ёмкости льдом. При полезном объёме ёмкости в 10 м<sup>3</sup> ( $2,5 \times 2 \times 2$ ) при её опорожнении на 70% заправку до полного объёма необходимо проводить через каждые 23 дня по 7 тонн льда.

Средняя тепловая охладительная мощность установки при таянии 300 кг льда в сутки составит

$$N_{\text{кон}\Sigma} = 300 \cdot r/(24 \cdot 3600) = 300 \cdot 334/(24 \cdot 3600) = 1,16 \text{ кВт},$$

где  $r = 334 \text{ кДж/кг}$  — теплота плавления льда.

Какое количество воздуха этим холодом можно охладить от  $t_{1B} = 25^\circ\text{C}$  до  $t_{1B} = 20^\circ\text{C}$ ?

$$L = N_{\text{кон}\Sigma} / [c_{\text{воз}} (t_{1B} - t_{2B})] = 1,16 / [1 (25 - 20)] = 0,232 \text{ кг/с} = 835 \text{ кг/ч}.$$

При этом объёмный расход охлаждённого воздуха составит

$$W = L/\rho = 835/1,225 = 682 \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$  — теплоёмкость воздуха при средней расчётной температуре.

Для гостиниц класса «3 звезды» площадь номера должна быть:

- одноместного — 12 м<sup>2</sup> (допускается уменьшение площади на 10%);
- двухместного — 15 м<sup>2</sup> (допускается уменьшение площади на 10%).

Примем, что половина жильцов проживают в двухместных номерах (25 шт). Тогда при высоте потолков в 2,5 м общий объём гостиницы составит

$$V_{\text{об}} = 2,5 (50 \cdot 12 + 25 \cdot 15) = 2437 \text{ м}^3.$$

Время для охлаждения этого объёма воздуха составит  $T_1 = V_{\text{об}}/W = 2437/682 = 3,6 \text{ ч}$ .

За сутки при этом можно обеспечить следующую кратность замены воздуха:  $\text{кв} = 24/3,6 = 6,67$ .

В каждый номер гостиницы (их 75) вместо кондиционера можно установить поилку с прохладной водой, идущей из общей ёмкости со льдом. Водяную

часть поилки выполнить в виде радиатора с вентилятором для интенсивного охлаждения воздуха. Работа вентилятора должна регулироваться температурой в помещении (при 25°C он должен включаться, а при 18°C — отключаться).

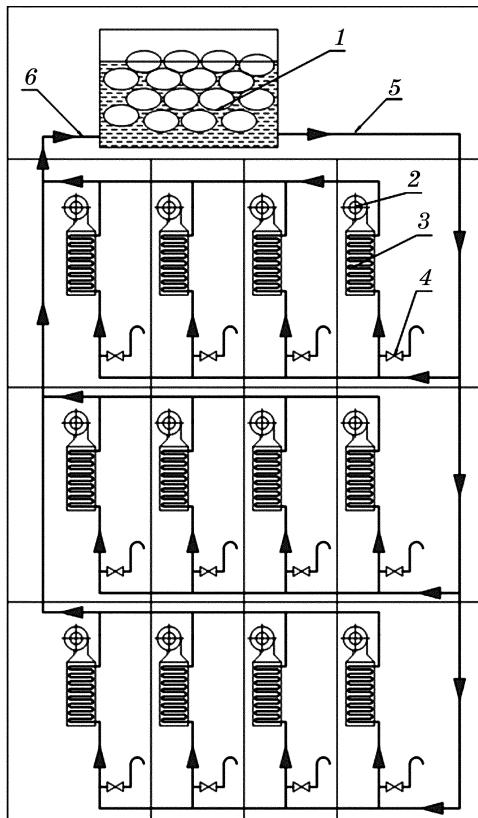


Рис. 1.3

Схема работы системы кондиционирования воздуха и системы питьевой воды:

1 — ёмкость с водой и льдом; 2 — вентилятор охладителя воздуха; 3, 4 — узел потребления воды; 5 — линия подачи холодной воды; 6 — линия подачи тёплой воды.

Какой должна быть общая площадь радиаторов охлаждения воздуха, чтобы вода в аппарате имела температуру  $t_b = 5^\circ\text{C}$  и воздуха  $t_{\text{воз}} = 20^\circ\text{C}$  и передавала тепло, равное теплоте плавления 300 кг льда с теплотой плавления  $r = 334 \text{ кДж/кг}$ ?

$$F_{\text{рад}} = 300 r / (\tau k \Delta t) = 300 \cdot 334 \cdot 1000 / (7069 \cdot 9,9 \cdot 15) = 96 \text{ м}^2,$$

где  $k = 1/(1/\alpha_1 + \delta/\lambda + 1/\alpha_2) = 1/(1/1000 + 0,001/45 + 1/10) = 9,9 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$  — коэффициент теплопередачи при  $\delta = 0,001 \text{ м}$  (толщина стенки); коэффициенты теплоотдачи от воды к стенке трубы  $\alpha_1 = 1000 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , а от наружной ее поверхности к воздуху  $\alpha_2 = 10 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ ; коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda = 45 \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)}$ .

В каждом из 75 номеров должен быть установлен радиатор площадью  $F_{\text{рад}} = 96/75 = 1,28 \text{ м}^2$ .

$F_{\text{рад}} = 1,28 \text{ м}^2$  — это наружная поверхность трубы диаметром 12 мм длиной 34 м. Это четырёхрядный калорифер с длиной трубок 0,5 м по 17 трубок в каждом ряду (габариты 600×500×300 мм). При применении калорифера с оребрёнными трубами габариты будут в два раза меньше.

При общей тепловой мощности охладителей воздуха в 1,16 кВт при применении электрических кондиционеров на их работу с коэффициентом трансформации  $\varepsilon = 2,5$  было бы затрачено в сутки электрической энергии:

$$N_{\text{кон}} = 1,16 \cdot 24 / 2,5 = 11,14 \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

При цене за 1 кВт·ч в Севастополе 3,6 рубля за работу кондиционера необходимо в сутки платить  $11,14 \cdot 3,6 = 40$  рублей.

Баланс суточных платежей:

$300 (13 - 3) = 3000$  рублей — затраты на покупку льда по цене 13 рублей с реализацией питьевой воды по цене 3 рубля за 1 литр;

40 рублей — уменьшение расходов на кондиционер;

$3000 - 40 = 2860$  рублей — перерасход в сутки.

Применение льда может быть оправдано, только если вода, получаемая из льда, приобретенного по цене 13 рублей, будет высшего качества и реализована по цене не менее 20 рублей за 1 литр. Тогда будем иметь экономию

$$300 \cdot 20 + 40 - 300 \cdot 13 = 2140 \text{ рублей в сутки.}$$

При цене реализации питьевой воды больше 15 рублей использование данного предложения будет рентабельным.

## Заключение

При равных условиях себестоимость упакованного льда из питьевой воды при использовании естественного холода в сравнении с искусственным будет в 1,5 раза ниже, но транспортные расходы из арктических районов это преимущество полностью нивелируют, так как эти расходы в десятки раз превышают себестоимость льда. Рентабельность реализации упакованного льда из питьевой воды во многом зависит от качества воды и, соответственно, от её цены. Качество воды в первую очередь зависит от источника, и, следовательно, от цены оборудования для её перевода в класс питьевой.

Пищевой лёд по цене 13 рублей за 1 литр как источник высококачественной питьевой воды и источник холода в системах кондиционирования воздуха может быть применим только в узких сферах гостиничного бизнеса при условии, что полученная из него вода будет реализована по цене не менее 15 рублей за 1 литр.

Применение вместо кондиционеров водяных охладителей воздуха требует больших монтажных работ для проведения трубопроводов к охладителям, соизмеримых со стоимостью кондиционеров.

Перспективы имеет только вариант, в котором пищевой лёд производится в льдогенераторе — испарителе теплового насоса в отопительный период, когда тепло, забираемое из воды при её переходе в лёд при помощи теплового насоса, передаётся в систему отопления и горячего водоснабжения. Это позволит в де-

сятки раз уменьшить поверхности нагрева теплообменников низкопотенциального тепла и получить лёд как побочный продукт. В летнее же время заготовленный лёд используется для напитков (вначале по самой низкой цене для удаления конкурентов с рынка), для получения питьевой воды (вначале по самой низкой цене для удаления конкурентов с рынка) и как источник холода при работе систем кондиционирования воздуха.

## 1.2. Промышленное применение естественного холода

В настоящее время всё более актуальным становится использование естественного холода для экономии энергозатрат и сбережения моторесурса холодильного оборудования. Под естественным холодом подразумевается холод наружного воздуха с отрицательной температурой. Климатические условия на большей части нашей страны обеспечивают отрицательными температурами наружный воздух свыше 5 месяцев в году, что создает хорошие перспективы использования естественного холода для технологических нужд. Эффективность охлаждения естественным холодом зависит от климатических условий конкретного региона. Так, холодная зона с морозными зимами располагается северо-восточнее линии Санкт-Петербург — Казань — Омск.

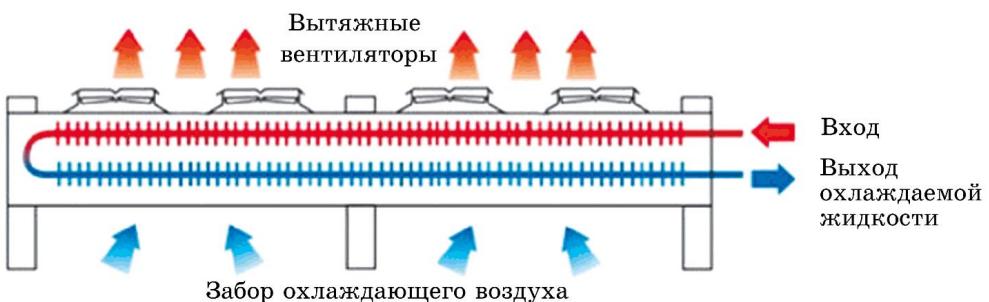
Рассмотрим один из вариантов использования естественного холода. В пищевой промышленности (охлаждение молока, производство и разлив алкогольных и безалкогольных напитков, производство мороженого, колбас), в химической промышленности (производство резины, красок, косметической продукции), в металлообрабатывающей промышленности и в машиностроении, производстве пластмасс, в медицине и т. д., как правило, в виде технологического хладоносителя используется вода с диапазоном температур от  $+1^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ . Охлаждение воды на предприятиях осуществляется дорогостоящими холодильными машинами со значительными затратами на электроэнергию, обслуживание и ремонт. Для использования естественного холода вместо холодильных машин 5 месяцев в году целесообразно применять устройство для охлаждения жидкости наружным воздухом — радиаторная (сухая) градирня (рис. 1.4) изобретена венгерскими инженерами Геллером и Фарго и изначально использовалась для охлаждения конденсаторов электростанций. Она представляет собой корпус с размещенным внутри теплообменником (радиатором), по которому циркулирует охлаждаемая жидкость, и несколькими вентиляторами, обдувающими радиатор потоком наружного воздуха.

### Принцип работы радиаторной (сухой) градирни

Принцип работы градирни предельно прост. Охлаждаемый гликоловый водный раствор поступает в теплообменное устройство сухой градирни. По мере движения в теплообменнике гликоловый водный раствор равномерно и постепенно охлаждается воздухом, нагнетаемым вентиляторами. Затем охлаждённый водный раствор этиленгликоля от градирни подаётся насосом в промежуточный пластинчатый теплообменник, где охлаждает технологический хладоноситель — воду, используемую для охлаждения потребителей до нужной темпера-

туры в диапазоне от 1–15°C. При этом весь процесс охлаждения полностью автоматизирован и не требует присутствия оператора.

Спрос на такие градирни возрастает из-за стабильного повышения тарифов на электроэнергию. В зимний, весенний и осенний период градирни самостоятельно, без использования холодильного оборудования, могут обеспечить предприятие нужным объемом холодной воды за счет естественно низкой температуры уличного воздуха. Это позволяет отключать холодильное оборудование в эти периоды, чем обеспечивается продление срока службы и значительная экономия электроэнергии, так как при этом электроэнергия затрачивается исключительно на работу электрических двигателей вентилятора и перекачивающих насосов.



**Рис. 1.4**  
Принцип работы сухой градирни

Преимущества и недостатки сухой градирни:

- 1) надежная работа трубопроводов и насоса на длительный срок;
  - 2) проста в монтаже и эксплуатации;
  - 3) закрытый контур, отсутствие попадания примесей в воду;
  - 4) минимум сервисного обслуживания;
  - 5) достаточно короткий срок окупаемости — до 1,5 лет;
  - 6) хладоноситель не испаряется за счет циркуляции по замкнутому контуру;
  - 7) легкое внедрение новых блоков в функционирующую систему охлаждения;
  - 8) экономия электроэнергии и моторесурса холодильного оборудования на предприятии;
- 9) при эксплуатации сухая градирня не повышает уровень влажности воздуха и не загрязняет окружающую среду химическими соединениями.

Сухие градирни не могут охладить жидкость ниже температуры окружающей среды, что ограничивает их использование только в период холодного времени года.

### **1.3. Системы аккумулирования водного льда**

Использование природного холода для охлаждения и хранения пищевых продуктов насчитывает более двух веков. За это время разработано множество технологий, способов, приемов использования холода. Но самым эффективным способом накопления природного холода является заготовка водного льда. Од-

нако все известные сегодня способы заготовки льда неприемлемы по экономическим и экологическим соображениям.

В 1987 г. японские ученые M. Fukuda, F. Tsuchiya предложили для аккумулирования природного холода использовать новейшие разработки в области теплообменных устройств — тепловые трубы, термосифоны [7, 8, 9, 10, 11, 12].

Тепловая труба была изобретена в 1942 г. Гоглером из американской фирмы General Motors Corporation. Позднее, в 1963 г., Гровер независимо от Гоглера разработал и получил патент на идентичное устройство, названное им «тепловая труба». В последнее время во многих странах (в первую очередь в США и России) ведутся интенсивные разработки конструкций тепловых труб, являющихся высокоеффективными теплопередающими устройствами [13, 14, 15].

Классическая тепловая труба представляет собой вытянутый в длину герметичный, как правило, тонкостенный металлический сосуд, которая может работать как в горизонтальном, так и вертикальном положении.

Наиболее просты по устройству вертикальные трубы, именуемые термосифонами (см. рис. 1.5а). Нижняя часть трубы заполнена жидким хладагентом: фреоном R 22, аммиаком или углекислотой. Если нижнюю часть (испаритель) поместить в среду, например в воду с температурой 0°C, а верхняя оребренная часть будет находиться в морозном воздухе, то жидкий хладагент в испарителе будет интенсивно кипеть, забирая тепло фазового перехода воды в лёд из окружающей его среды. Пары хладагента, поднимаясь по трубе вверх, соприкасаются с внутренней холодной, промороженной поверхностью конденсатора, конденсируются, выделяя теплоту в окружающий морозный воздух. Пленка жидкого хладагента по стенкам трубы стекает вниз, в испаритель, где снова испаряется. Процесс идет непрерывно до тех пор, пока разность температур на концах трубы (тепловой набор) не станет минимальной (примерно 5°C). Такие трубы получили название термосифоны.

В процессе функционирования в термосифоне все время идет фазовое превращение:

- в испарителе — «жидкость → пар» с забором теплоты из окружающей среды;
- в конденсаторе — «пар → жидкость» с выделением теплоты в окружающую среду.

Применительно к охлаждению воды температура наружного воздуха, окружающего конденсатор, должна быть не выше  $-5^{\circ}\text{C}$ .

Таким образом, термосифон перекачивает тепло от воды в окружающий морозный воздух, превращая её в лёд. При повышении температуры воздуха до положительных значений термосифон перестает функционировать, но тепло в обратную сторону из окружающего воздуха в замороженный грунт или воду не передает. Термосифон является тепловым диодом (обратным клапаном). Термосифоны изготавливаются из труб диаметром 20–50 мм. Длина испарителей термосифонов составляет от 5 до 11 м и более [16, 17, 18, 19].

Трубы изготавливаются из нержавеющих сталей или алюминия. Теплопроводность современных термосифонов в 2–3 тысячи раз превышает теплопроводность медных стержней равных габаритов вследствие передачи тепла при испа-

рении и конденсации. А медь имеет самый высокий коэффициент теплопроводности — 390 Вт/(м·К).

В России исследовательскими разработками и производством термосифонов занимаются фирмы (компании) ООО «Ньюфрост», г. Протвино Московской области, НПФ «Проектстройстабилизатор», г. Москва, ЗАО «Фундамент Север Проект», г. Москва. Однако наибольшую известность как в нашей стране, так и за рубежом получило научно-производственное объединение ООО «Фундаментстройаркос», г. Тюмень. Термосифоны, выпускаемые этой компанией и именуемые термостабилизаторами грунтов, весьма разнообразны по конструкции и функциональным возможностям. Все испарительно-конденсационные системы, выпускаемые компаниями «Ньюфрост», «Проектстройстабилизатор», «Фундаментсеверпроект», именуются сезонными охлаждающими устройствами — СОУ. «Фундаментстройаркос» выпускает три вида СОУ (см. рис. 1.5):

- вертикальные естественно действующие трубчатые ВЕТС;
- горизонтальные естественно действующие трубчатые ГЕТС;
- одиночные вертикальные термосифоны.

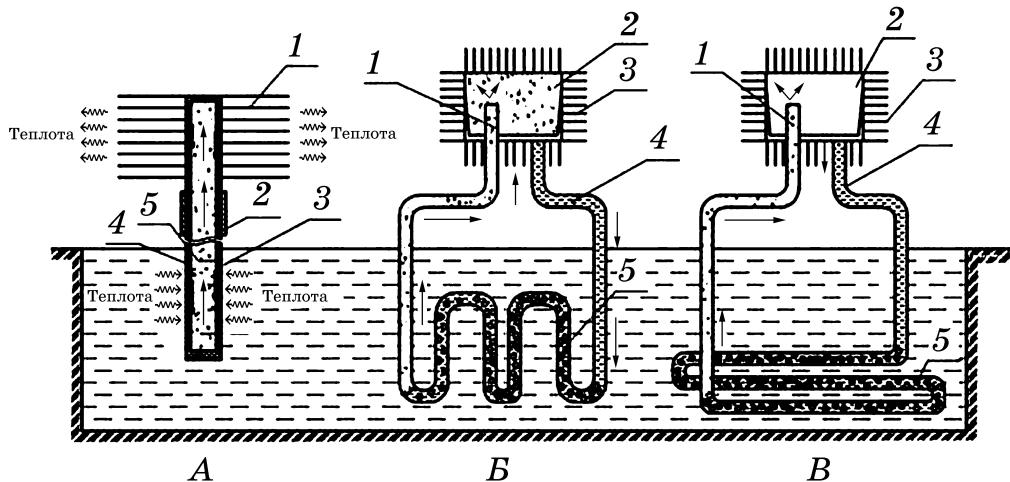


Рис. 1.5

Виды термосифонных систем:

А — одиночный вертикальный термосифон; 1 — конденсатор; 2 — тепловая вставка; 3 — испаритель жидкого хладагента; 4 — жидкий хладагент; 5 — парообразный хладагент.  
 Б — вертикальные естественно действующие трубчатые ВЕТС; 1 — входной патрубок; 2 — конденсатор; 3 — оребрение конденсатора; 4 — выходной патрубок; 5 — испаритель.  
 В — горизонтальные естественно действующие трубчатые ГЕТС; 1 — входной патрубок; 2 — конденсатор; 3 — оребрение конденсатора; 4 — выходной патрубок; 5 — испаритель.

Все названные компании используют свою продукцию в арктических районах для промораживания вечной мерзлоты в зимнее время до более низких температур под зданиями, нефтехранилищами, дорогами и другими инженерными сооружениями в местах добычи полезных ископаемых.

Некоторые типы СОУ, выпускаемые НПО «Фундаментстройаркос», способны промораживать грунт на глубину до 100 метров. Учитывая опыт по замо-

Конец ознакомительного фрагмента.  
Приобрести книгу можно  
в интернет-магазине  
«Электронный универс»  
[e-Univers.ru](http://e-Univers.ru)